Luminosité et distance

Comment l'éclat diminue-t-il avec la distance ?

Difficulté : D

Votre mission. Tester la loi de l'inverse du carré avec une LED et un capteur, établir une courbe d'étalonnage et retrouver une distance inconnue. Relier cette expérience à la mesure d'une distance stellaire par photométrie.

Helen Sawyer Hogg a étudié les variations d'éclat des étoiles d'amas globulaires pour en estimer notamment les distances. Votre atelier montre pourquoi l'éclat reçu doit être relié à la luminosité propre de l'étoile.

Groupe : _____ Classe : _____ Membres : _____

Six séances d'une heure pour votre groupe

Séance	Organisation des 60 minutes	Trace à conserver
S1	**Construire le modèle** 15 min : question et rôles ; 20 min : ressources ; 25 min : hypothèses et protocole.	Schéma du montage et prédiction quantitative.
S2	**Acquérir les mesures** 15 min : fond et réglages ; 35 min : huit distances ; 10 min : sauvegarde.	Tableau brut, fond lumineux et répétitions.
S3	**Étalonner et tester** 30 min : répétitions et droite ; 20 min : distance inconnue ; 10 min : contrôle.	Étalonnage et prédiction avant dévoilement.
S4	**Passer aux étoiles** 35 min : modules de distance ; 25 min : extinction et sensibilité des résultats.	Calculs photométriques et discussion des écarts.
S5	**Construire la restitution** 40 min : poster ou diaporama ; 20 min : vérification des axes et du modèle.	Support presque terminé, vidéo éventuelle préparée.
S6	**Restituer et conclure** 10 min : derniers réglages ; 40 min : présentations selon la classe ; 10 min : bilan.	Support final reliant laboratoire et astronomie.

Les ateliers avancent en parallèle. La séance 6 se partage entre groupes ; les vidéos peuvent être visionnées à part ou par extraits.

Rôles et carnet de bord. Répartir mesures/données, calculs/incertitudes, graphiques et synthèse/oral. Faire tourner les rôles. Dans le carnet : date, décisions, fichiers, contribution de chacun et prochaine tâche.

Production finale obligatoire : un poster scientifique ou un diaporama. Si nécessaire, l'accompagner d'une **vidéo de 5 à 10 minutes**.

Le protocole de votre atelier

Matériel et données nécessaires

LED stable alimentée en basse tension, luxmètre ou capteur de lumière, règle ou mètre, supports, pièce peu éclairée, ordinateur et tableur. Un même smartphone peut servir à une étude relative si le capteur reste stable.

Le principe et les relations utiles

Pour une source ponctuelle qui émet dans toutes les directions, une puissance L se répartit sur une sphère de surface $4\pi d^2$. Le flux énergétique F reçu par unité de surface diminue donc comme $1/d^2$.

$F = L / (4\pi d^2)$; au laboratoire : E corrigé = E brut − E fond.
Étalonnage : $E = a / d^2 + b$; $d = \sqrt{[a / (E - b)]}$.
Pour l'étoile : $\mu_0 = m - M - A$; $d\ (pc) = 10^{(\mu_0 + 5)/5}$.

m : magnitude apparente ; M : magnitude absolue (à 10 pc) ; A : extinction en magnitudes, due à l'absorption et à la diffusion sur le trajet. μ_0 : module de distance corrigé. 1 pc ≈ 3,26 années-lumière.

Procédure à suivre

1. Stabiliser le montage. Placer LED et capteur face à face. Garder leur orientation fixe et mesurer d depuis le centre lumineux. Utiliser une LED basse tension, sans laser ni source éblouissante.

2. Mesurer le fond. LED éteinte, relever E fond. Refaire cette mesure en fin de série pour vérifier sa stabilité. Éviter les réflexions et la saturation du capteur.

3. Mesurer sur huit distances. Relever E brut à d = 0,20 ; 0,25 ; 0,30 ; 0,40 ; 0,50 ; 0,60 ; 0,80 et 1,00 m. Faire trois mesures par distance et noter l'unité lux (lx).

Point de vigilance. Un luxmètre mesure un éclairement pondéré par la sensibilité de l'œil. L'expérience teste la dépendance géométrique ; elle ne mesure pas directement le flux énergétique d'une étoile. Utiliser des magnitudes et une extinction dans la même bande de mesure.

Les étapes 4 à 6 et les consignes d'exploitation se poursuivent à la page suivante.

Mesures et exploitation

4. Corriger et représenter. Calculer les moyennes, E corrigé et 1/d². Tracer E corrigé = f(d), puis E corrigé = f(1/d²). Comparer la courbe décroissante au graphique linéarisé.

5. Ajuster sans forcer le résultat. Effectuer une régression affine E corrigé = a × (1/d²) + b. Examiner les écarts et b ; une ordonnée à l'origine non nulle peut révéler un fond résiduel ou une limite du modèle.

6. Prédire puis vérifier. Mesurer l'éclairement à une distance inconnue dans la plage étalonnée. Calculer d avant de lire le mètre. Comparer, puis appliquer le module de distance aux trois étoiles du tableau ci-dessous.

Mesures d'entraînement et test d'une distance

03_eclairements_entrainement.txt reprend le jeu du dossier : huit distances, E brut et E fond. Utiliser vos mesures en priorité. Dans le jeu, E fond = 20 lx.

d (m)	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	1,00
E brut (lx)	1 000	650	455	255	165	116	66	43

Dans 03_inconnues_simulees.txt : E corrigé = 310 ; 118 et 62 lx. Utiliser votre ajustement, avec b, pour déduire les distances. Le jeu n'est pas parfaitement proportionnel : discuter les écarts.

Application à des étoiles standards fictives

Étoile	m	M	A (mag)	d (pc)
A	7,2	2,2	0,0	...
B	10,1	0,6	0,5	...
C	12,0	-1,0	1,0	...

Calculer les trois distances, puis refaire le calcul sans extinction. Pour un cas, remplacer μ_0 par $\mu_0 \pm 0{,}20$ mag et comparer les distances obtenues. Expliquer pourquoi un même flux peut provenir d'une étoile faible proche ou d'une étoile très lumineuse lointaine.

Critique expérimentale : E corrigé > 0 ; E corrigé − b > 0 pour l'inversion ; source et capteur stables ; pas d'extrapolation injustifiée. Discuter la précision du mètre, du capteur et de la régression.

Ressources et restitution

Les titres bleus sont cliquables. Repérer l'auteur, la langue et le rôle de chaque document. Après une vidéo, noter au moins deux idées utiles et une limite ou question.

Observatoire de Paris - Magnitude apparente

Lecture en français. Expliquer le sens de l'échelle des magnitudes et distinguer flux reçu et luminosité intrinsèque.

VIDÉO - CEA / Université Paris-Saclay : diversité des étoiles

Vidéo en français. Repérer ce qui appartient à l'étoile, puis ce qui dépend de sa distance à l'observateur.

NASA/JPL - How to Measure the Universe

Schéma et texte en anglais. Étudier l'illustration de gauche sur la chandelle standard ; justifier le besoin d'un étalonnage.

Animation Prof-TC déjà préparée pour ce projet : 05 - Eclat et distance.gif. Elle est fournie dans le dossier Animations du pack. Ce GIF pédagogique de 10 s ne remplace pas la vidéo éventuelle de 5 à 10 min produite par le groupe.

Ce qui doit figurer dans votre production finale

Un poster scientifique ou un diaporama, avec titre, question, méthode, données sourcées, schéma légendé, résultats avec unités et incertitudes, limites et conclusion. **Si nécessaire : une vidéo de 5 à 10 minutes**, montrant le protocole ou expliquant le raisonnement.

Preuves propres à votre atelier : Tableau brut et corrigé, les deux graphiques, la régression avec ses unités, une distance inconnue et trois distances photométriques.

Pour la vidéo éventuelle : environ 1 min de question, 2 à 3 min de méthode, 1 à 3 min de résultats et 1 à 2 min de limites. Partager la parole, commenter les figures et citer les sources et crédits.

Critères de réussite - proposition sur 20

Modélisation	Traitement	Esprit critique	Communication	Groupe
5 points	5 points	4 points	4 points	2 points

Dossier Prof-TC fourni : pages physiques 5 et 15 à 28. Le protocole conserve la correction du fond et l'analyse des écarts. Ressources externes : sélection du 18 novembre 2026. Les fichiers d'entraînement sont pédagogiques ; ils n'ajoutent pas de mesures astronomiques réelles.